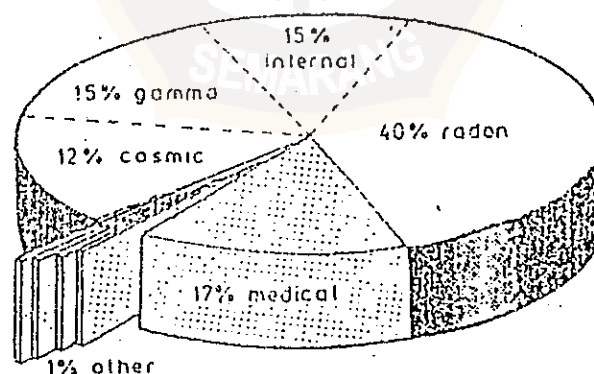


BAB II

DASAR TEORI

A. SUMBER-SUMBER RADIASI LINGKUNGAN

Menurut Beisser (1992) lingkungan menerima paparan radiasi yang berasal dari sumber radiasi alam dan sumber radiasi buatan manusia. Sumber-sumber radiasi tersebut memancarkan partikel- α , partikel- β , sinar- γ , sinar-X dan radiasi neutron. Radiasi yang berasal dari sumber radionuklida alam disebut radioaktivitas alam dan radiasi yang berasal dari radionuklida buatan disebut radioaktivitas buatan. Pada dasarnya radiasi-radiasi dari sumber radiasi tersebut radionuklidanya mencemari lingkungan dan besarnya sumbangan dari bermacam-macam sumber radiasi tersebut di tunjukkan pada gambar (2.1).



Gambar (2.1) Sumbangan berbagai radiasi yang mencemari lingkungan
(Sutarman dalam Agus Subagio, 1995)

Radiasi alam selain berasal dari angkasa luar juga berasal dari zat radioaktif alam yang sudah ada sejak awal terbentuknya bumi dan tersimpan di lapisan kerak bumi. Menurut Wiryosimin (1995) radionuklida alam dalam bumi ialah radionuklida yang mempunyai waktu paro panjang, yaitu K^{40} ($T_{1/2}=1,3 \times 10^9$ tahun), Rb^{87} ($T_{1/2}=5,0 \times 10^{10}$ tahun), U^{238} ($T_{1/2}=4,51 \times 10^9$ tahun), Th^{232} ($T_{1/2}=1,39 \times 10^9$ tahun). Radionuklida yang memiliki umur paro panjang memiliki laju peluruhan yang sangat rendah. Unsur-unsur radioaktif yang berumur panjang jumlah konsentrasinya kecil sehingga tidak merupakan bahaya bagi tubuh kita.

A.1. SUMBER RADIASI ALAM

Menurut Wisnu Arya Wardhana (1994) sumber radiasi alam merupakan sumber radiasi yang berasal dari dalam bumi dan luar bumi dan sudah terbentuk sejak terbentuknya bumi dan alam semesta ini. Sumber radiasi alam ini sebagai penyumbang radiasi latar belakang. Sumber radiasi alam terdiri dari :

1. Radiasi dari nuklida primordial

Radiasi dari nuklida primordial ini disebut juga sebagai radiasi yang berasal dari bumi. Sumber radiasi dari permukaan bumi ini dapat berasal dari deret uranium (U^{235}), deret thorium (Th^{232}), deret aktinium (Ac^{227}), K^{40} dan C^{14} . Paparan radiasi primordial ini di tiap-tiap tempat berbeda-beda. Uranium dan Thorium biasanya terdapat dalam batuan fosfat. Uranium sendiri ada dua macam yaitu U^{238} dan U^{235} dengan perbandingan 99,3% dan 0,7%. Radon dan thoron banyak terdapat di

udara karena radon dan thoron merupakan hasil peluruhan dari deret U^{238} dan Th^{232} . Untuk Ra^{226} dan K^{40} banyak terdapat pada air laut.

a. Radioaktivitas di udara

Radioaktivitas latar di udara terutama disebabkan oleh gas Radon dan Thoron, yang merupakan hasil peluruhan dari deret U^{238} dan Th^{232} . Kedua gas tersebut peluruhannya dapat mendatangkan efek yang merusak pada manusia. Apabila terhirup secara berlebihan dapat menyebabkan kanker paru-paru. Kedua gas tersebut terbentuk secara alamiah dan terlarut dalam udara.

b. Radioaktivitas di dalam air

Di dalam air laut banyak mengandung K^{40} , sedangkan di dasar laut sendiri mengandung Ra^{226} yang konsentrasinya homogen berasal dari sedimen dan pada umumnya konstan. Ra^{226} terdapat di dalam air tanah dan sumber air panas. Konsentrasi Ra^{226} dalam air panas lebih kecil dibanding konsentrasi Rn^{222} . Ra^{226} sendiri mempunyai sifat terserap oleh tanaman. Ra^{226} akan sampai pada manusia melalui makanan dan akan berada di tulang atau kerangka. Air hujan mengandung radioaktif dari udara, sedangkan air tanah biasanya mengandung zat radioaktif yang berasal dari tanah.

2. Radiasi sinar kosmis

Radiasi sinar kosmis berasal dari angkasa luar, yaitu dari energi yang dipancarkan oleh bintang-bintang dan matahari yang berinteraksi dengan atmosfer. Intensitas

sinar kosmis di alam rendah tetapi sinar ini merupakan halangan bagi perjalanan luar angkasa. Radiasi sinar kosmis dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a. Radiasi primer

Radiasi primer berasal dari zarah-zarah sub atomik yang dipancarkan matahari di luar angkasa. Radiasi ini terdiri dari 79% proton, 20% partikel alpha, 0,7% karbon dan sisanya adalah nitrogen, oksigen dan lainnya.

b. Radiasi sekunder

Radiasi sekunder ini dihasilkan pada saat sinar kosmis primer memasuki atmosfer dan berinteraksi dengan inti dan elektron yang berada di atmosfer. Sebagian dari sinar kosmis ini tidak dapat sampai ke bumi karena terperangkap oleh medan magnet bumi dan membentuk sabuk radiasi yang mengelilingi bumi. Sinar kosmis sekunder ini terdiri dari meson, proton, neutron, elektron dan foton yang energinya lebih rendah dari energi sinar kosmis primer. Sinar kosmis sekunder dengan tenaga yang cukup dapat melakukan reaksi inti menghasilkan nuklida-nuklida Fe^4 , Be^7 , Li^7 dan Be^8 (Wisnu Arya Wardhana, 1994).

A.2. SUMBER RADIASI BUATAN MANUSIA

Menurut Wisnu Arya Wardhana (1994) radiasi dapat timbul karena dibuat oleh manusia, antara lain dari hasil pembelahan (fisi), reaksi inti dan debu-debu radioaktif dari hasil ledakan bom nuklir. Sumber radiasi buatan manusia telah banyak digunakan

untuk berbagai keperluan seperti untuk radioisotop, sinar-X, akselerator bahan bakar nuklir dan lain-lain. Pemakaian radiasi buatan ini dikategorikan menjadi tiga kategori yaitu untuk keperluan medis, industri atau eksploitasi sumber alam dan untuk keperluan penelitian.

1. Untuk keperluan medis

Dalam kesehatan, radiasi pada umumnya digunakan untuk diagnosa dan untuk pengobatan berbagai macam kelainan pada organ tubuh. Sumber radiasi yang digunakan adalah sinar-X dan isotop radioaktif khususnya isotop pemancar gamma.

- Diagnosis

Dalam menentukan ada tidaknya kelainan ataupun gangguan pada organ tubuh digunakan sinar-X dan gamma.

- Terapi

Dalam bidang terapi, radiasi dapat digunakan untuk radiasi internal dan radiasi eksternal. Pada terapi digunakan pula sinar-X dan sinar- γ untuk pengobatan penyakit tumor dan kanker. Dasar pengobatan adalah pecahnya inti sel jaringan (jaringan yang cacat atau sakit) sehingga jaringan tersebut terganggu kelangsungan hidupnya.

2. Untuk keperluan industri dan eksploitasi sumber alam

Kegiatan manusia dalam memenuhi kebutuhan antara lain dengan pembangunan reaktor untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk penelitian, produksi bahan bakar

nuklir, pembakaran batubara untuk pembangkit listrik tenaga uap, penambangan batubara dan uranium dengan pembuatan terowongan-terowongan untuk keperluan bahan non-migas dan komoditas industri.

Beberapa kegiatan tersebut menyebabkan kontribusi dari radiasi terbesar ada pada Radon dan Thoron, dikarenakan konsentrasinya yang tinggi dan tersebar di udara. Melalui pernafasan dapat sampai ke paru-paru manusia.

3. Untuk penelitian

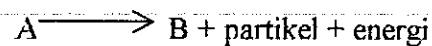
Penggunaan zat radioaktif untuk keperluan penelitian antara lain :

- Bidang kedokteran : metode teknik perunut untuk organ dan kelenjar
- Bidang pertanian : untuk pembuatan bibit unggul
- Bidang proses radiasi : Sterilisasi alat-alat dan perlengkapan kedokteran, proses iradiasi pengawetan makanan.

B. PELURUHAN RADIOAKTIF

Menurut Wisnu Susetyo (1988) radioaktivitas adalah gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai dengan radiasi berupa zarah dan atau gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam inti atom membawa perubahan dari satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu unsur ke unsur yang lain. Peristiwa perubahan inti atom menjadi inti atom yang lain disebut disintegrasi inti atau peluruhan radioaktif.

Agar gejala radioaktivitas dapat dinyatakan secara kuantitatif maka ditinjau suatu peluruhan radioaktif sederhana. Pada keadaan sederhana A, meluruh menjadi B yang stabil dengan memancarkan partikel dan energi.



Apabila cacah atom induk pada saat t adalah N_t , maka persamaan peluruhannya dapat disajikan (Wisnu Susetyo, 1988) :

$$\frac{dN_t}{dt} = -\lambda N_t \quad (2.1)$$

dan apabila persamaan (1) diintegrasikan, maka diperoleh :

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

dengan λ adalah tetapan peluruhan, N_0 adalah jumlah zat radioaktif sebelum meluruh, N_t adalah jumlah zat radioaktif setelah meluruh selama t .

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut waktu paro (T). Menurut Wiryosimin (1995) umur paro suatu radionuklida adalah waktu yang diperlukan suatu radionuklida untuk meluruh menjadi setengahnya, menurut persamaan :

$$N_t = \frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$$

dengan $e^{-\lambda t} = \frac{1}{2}$ atau $-\lambda t = \ln \frac{1}{2}$, sehingga $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

$$T = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.3)$$

C. AKTIVITAS PELIRUHAN RADIONUKLIDA

Pada saat melakukan pengukuran cacah atom suatu radionuklida maka besaran yang dapat langsung terukur adalah aktivitas. Menurut Beisser (1992) aktivitas peluruhan radionuklida didefinisikan sebagai laju peluruhan inti setiap satuan waktu. Jika atom N menyatakan banyak inti dalam cuplikan pada suatu saat, aktivitasnya A , maka aktivitas dapat disajikan menurut persamaan :

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (2.4a)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$A = \lambda N$$

maka $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ atau $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$ (2.4b)

dan apabila persamaan (2.4b) diintegrasikan maka diperoleh :

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

Pada dasarnya kita tidak dapat mengukur N , tetapi dengan mengalikan kedua ruas dengan λ maka akan didapatkan persamaan (Kranne, K, 1992) :

$$\begin{aligned} \lambda N_t &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} \\ A &= A_0 e^{-\lambda t} \end{aligned} \quad (2.6)$$

dengan A_0 adalah aktivitas saat $t=0$ dan λ adalah konstanta peluruhan (decay constant) yang tidak bergantung pada usia cuplikan bahan radioaktif.

Menurut Wisnu Susetyo (1988) secara internasional telah disepakati satuan aktivitas adalah :“becquerel” dan disingkat dengan Bq. Satu “becquerel” didefinisikan sebagai satu disintegrasi per sekon (dps).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

Untuk aktivitas yang ordenya sangat tinggi biasa digunakan satuan “curie” dan disingkat dengan Ci

$$1 \text{ curie} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq.}$$

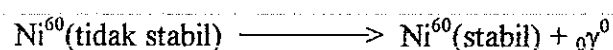
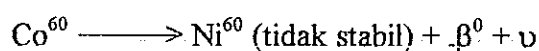
D. PELURUHAN- γ

Menurut Beisser (1992) sebuah inti dapat berada dalam keadaan ikat yang energinya lebih tinggi dari pada keadaan dasar, seperti juga atom bisa berada dalam keadaan seperti itu. Inti tereksitasi kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton yang energinya bersesuaian dengan perbedaan energi antara berbagai keadaan awal dan keadaan akhir dalam transisi yang bersangkutan. Foton yang dipancarkan oleh inti daerah energinya berbeda-beda hingga mencapai beberapa MeV dan disebut dengan sinar- γ .

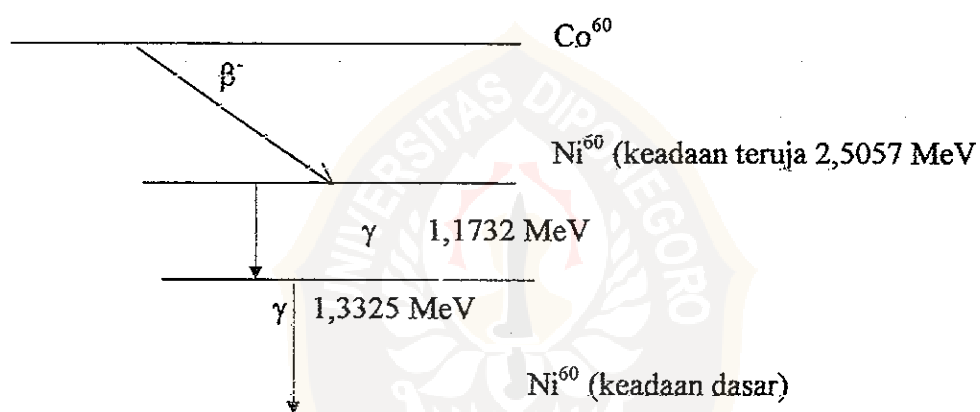
Hubungan sederhana antara tingkat energi dan skema peluruhan ditunjukkan dalam gambar (2.2) yang menggambarkan peluruhan beta Co^{60} menjadi Ni^{60} .

Menurut Wisnu Susetyo (1988) sinar- γ adalah radiasi gelombang elektromagnetik yang merupakan satu tenaga yang berupa foton- γ . Pada peluruhan sinar- γ massa dan muatan suatu inti yang memancarkan sinar- γ tidak berubah. Sebagai

contoh adalah peluruhan sinar- γ dari Co^{60} yang meluruh menjadi Ni^{60} melalui peluruhan β^- :



Ni^{60} yang terbentuk berada dalam keadaan teruja (2,5057 MeV di atas keadaan dasarnya) segera meluruh dengan memancarkan dua sinar- γ masing-masing dengan energi 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV (Wisnu Susetyo, 1988)



Gambar (2.2). Skema peluruhan (γ) dari unsur Co^{60} (Wisnu Susetyo, 1988)

E. INTERAKSI SINAR- γ DENGAN MATERI

Menurut Wisnu Susetyo (1988) spektrum sinar- γ terbentuk sebagai hasil interaksi antara sinar- γ dengan detektor. Pada hakekatnya interaksi sinar- γ dengan materi adalah peristiwa dimana foton-foton menyerahkan tenaganya pada atom-atom materi yang dilaluinya. Interaksi sinar- γ dengan materi bisa melalui berbagai proses, tetapi yang penting dalam spektrometri- γ hanya ada tiga, yaitu :

1. Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton- γ dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam sebuah atom, biasanya kulit K atau L. Foton- γ akan menumbuk elektron tersebut dan karena itu terikat kuat-kuat sehingga elektron akan menyerap seluruh tenaga foton- γ . Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton- γ dan tenaga ikat elektron, dengan persamaan yang disajikan :

$$E_e = E_\gamma - W \quad (2.7)$$

dengan E_e adalah tenaga kinetik elektron (eV)

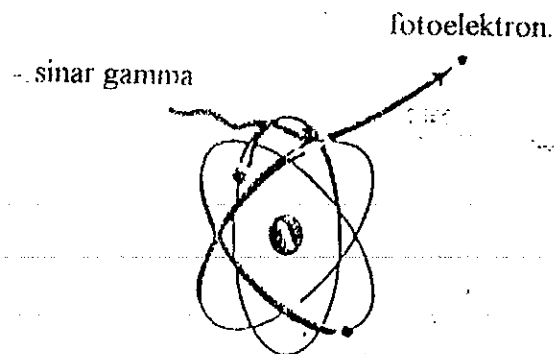
E_γ adalah tenaga foton- γ (eV)

W adalah tenaga ikat elektron (eV)

Elektron yang dipancarkan disebut fotoelektron. Efek fotolistrik secara skematis digambarkan secara skematis dalam gambar (2.3).

Dari persamaan (2.7) di atas terlihat bahwa efek fotolistrik akan terjadi jika $E_\gamma > W$ dan setelah peristiwa ini foton γ akan lenyap.

Pada efek fotolistrik terjadi serapan seluruh energi gamma, jadi distribusi pulsa pada peristiwa inipun terjadi secara karakteristik, sehingga dalam spektrumnya akan berbentuk diskrit pada energi tertentu.



Gambar (2.3) Skema efek fotolistrik.
(Wisnu Susetyo, 1988)

2. Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi oleh interaksi antara foton gamma dan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah, misalnya elektron pada kulit terluar suatu atom. Apabila foton gamma menumbuk elektron jenis ini maka sebagian tenaga foton gamma akan diserahkan pada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut θ terhadap arah gerak foton gamma mula-mula. Tenaga gamma yang terhambur setelah tumbukan merupakan fungsi tenaga gamma mula-mula dan sudut hamburan, dengan persamaan yang disajikan :

$$E_{\gamma} = \frac{E_0}{1 + \left(\frac{E_0}{m_0 c^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (2.8)$$

dengan E_{γ} = tenaga sinar gamma terhambur (eV)

E_0 = tenaga sinar gamma mula-mula (eV)

m_0 = massa diam elektron (kg)

c = laju cahaya dalam hampa (m/s)

θ = sudut hamburan

Berdasarkan hukum kekekalan tenaga, tenaga elektron Compton E_e adalah selisih antara tenaga sinar gamma mula-mula dan tenaga sinar gamma terhambur, menurut persamaan:

$$E_e = E_0 - E_\gamma \quad (2.9)$$

Apabila harga E_γ disubstitusikan dari persamaan (2.8) maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$E_e = E_0 \frac{\left(\frac{E_0}{m_0 c^2}\right)(1 - \cos \theta)}{1 + \left(\frac{E_0}{m_0 c^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (2.10)$$

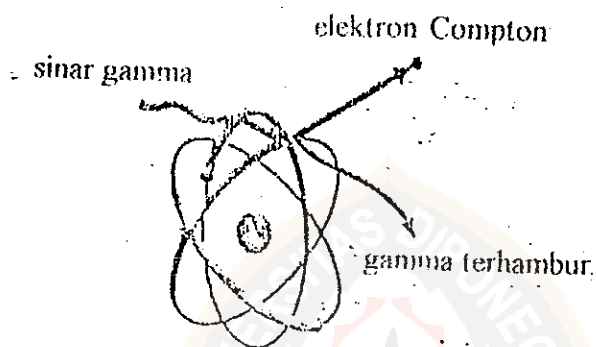
Sinar gamma akan kehilangan tenaga maksimum (elektron Compton akan menerima tenaga maksimum) apabila terjadi tumbukan frontal dengan $\theta = 180^\circ$ terhadap elektron. Pada saat demikian tenaga elektron Compton adalah :

$$E_e = \frac{E_0}{1 + \left(\frac{m_0 c^2}{2E_0}\right)} \quad (2.11)$$

Apabila sudut antara elektron Compton dengan arah sinar gamma mula-mula dinyatakan dalam ϕ , maka sudut tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$\tan \phi = \frac{1}{1 + \left(\frac{E_0}{m_0 c^2}\right) \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.12) tampak bahwa karena ϕ berkisar antara 0° sampai 180° , maka θ hanya berkisar antara 0° sampai 90° . Hal ini berarti bahwa elektron Compton selalu terhambur ke depan dan tidak pernah ke belakang. Gambar skema efek Compton disajikan pada gambar (2.4).



Gambar (2.4). Skema hamburan Compton
(Wisnu Susetyo, 1988)

3. Produksi Pasangan

Apabila foton gamma yang bertenaga cukup tinggi melewati medan listrik yang sangat kuat di sekitar inti atom, maka foton gamma akan lenyap dan akan muncul pasangan elektron- positron (e^- dan e^+). Peristiwa ini disebut efek pembentukan pasangan (pair production). Karena tenaga diam elektron dan positron masing-masing sebesar 0,511 MeV, maka efek pembentukan pasangan hanya terjadi pada sinar gamma yang memiliki tenaga lebih besar dari $2 \times 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$. Apabila tenaga sinar gamma mula-mula adalah E_0 maka kelebihan tenaga dibagikan

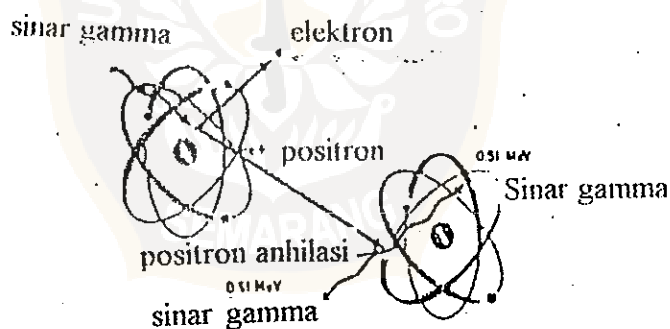
di antara elektron dan positron dalam bentuk tenaga gerak, yang memenuhi persamaan :

$$E_0 = 2 m_0 + Ek^- + Ek^+ \quad (2.13)$$

Ek^- dan Ek^+ adalah tenaga elektron dan positron.

Karena positron merupakan zarah yang tidak stabil dan mempunyai umur yang sangat pendek, maka dalam waktu singkat positron akan bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya. Peristiwa anhilasi ini ditandai dengan adanya dua buah foton 0,511 MeV yang arahnya berlawanan..

Gambar skema produksi pasangan dapat dilihat pada gambar (2.5).

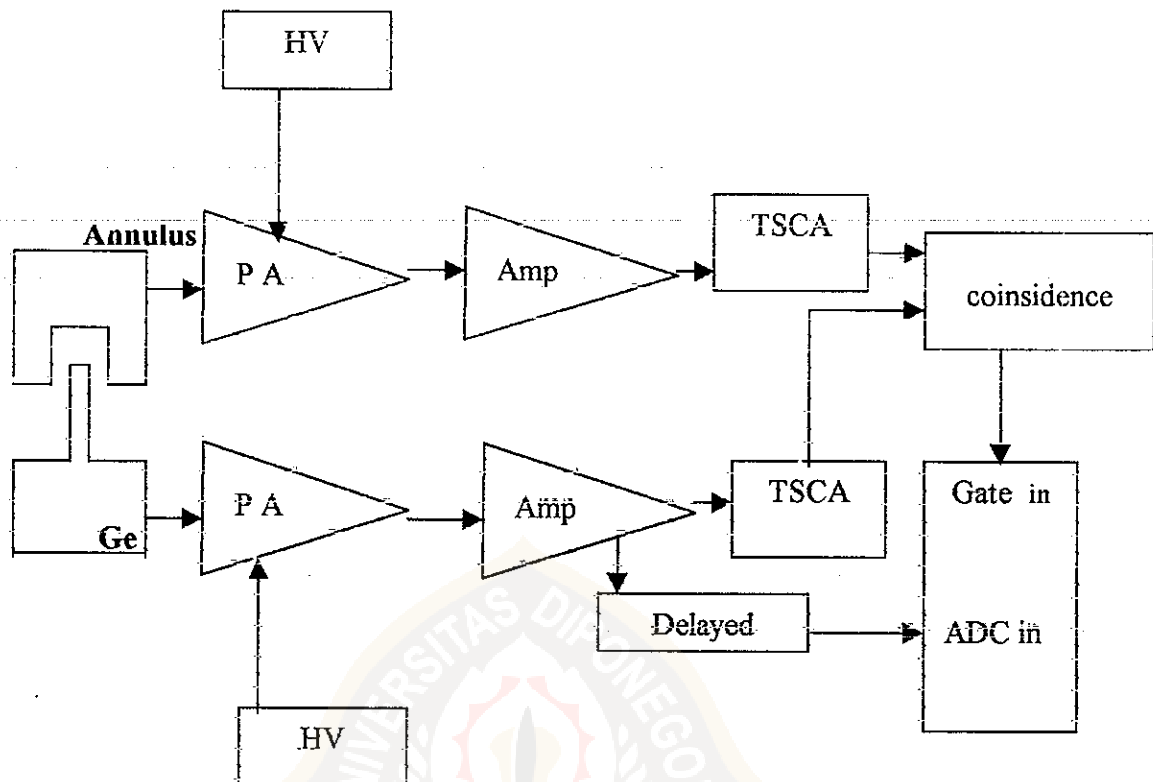


Gambar (2.5). Skema Produksi Pasangan
(Wisnu Susetyo, 1988)

F. DESKRIPSI ALAT PENCACAHAN

Sistem spektrometri latar rendah yang digunakan dalam pengukuran contoh lingkungan ini menggunakan sistem antikoinidensi yang terdiri dari dua detektor yaitu detektor utama (HPGe) yang digunakan untuk analisis dan detektor NaI(Tl) jenis sumur sebagai perisai aktif. Detektor HPGe dapat di keluar-masukkan ke dalam sumur NaI(Tl). Cuplikan atau contoh-contoh yang akan diukur diletakkan di atas detektor HPGe. Kombinasi detektor HPGe - NaI(Tl) ini di masukkan ke dalam perisai pasif yang terbuat dari bahan timbal (Pb) yang dilapisi dengan Cd dan Cu. Pulsa-pulsa yang keluar dari kedua detektor tersebut kemudian dicacah secara antikoinidensi.

Sistem penekan Compton ini merupakan suatu rangkaian peralatan yang dirancang sedemikian rupa, sehingga pada akhir pencacahan didapat data mengenai unsur-unsur yang bersifat radioaktif dengan aktivitas rendah yang terkandung di dalam cuplikan lingkungan. Gambar blok diagram sistem penekan Compton dapat disajikan pada gambar (3.2).



Gambar 3.2 Alur diagram rangkaian sistem penekan Compton
(IAEA, 1989)